

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.⁶
H04B 10/12

(45) 공고일자 1999년05월 15일
(11) 등록번호 10-0183913
(24) 등록일자 1998년12월 16일

(21) 출원번호	10-1996-0033481	(65) 공개번호	특1998-0014492
(22) 출원일자	1996년08월 12일	(43) 공개일자	1998년05월 25일

(73) 특허권자 삼성전자주식회사
경기도 수원시 팔달구 매탄동 416번지
(72) 발명자 황성택
경기도 송탄시 서정동 818-22
김성준
경기도 송탄시 독곡동 468 삼익아파트 104동 303호
(74) 대리인 이영필, 윤창일, 이상용

심사관 : 최봉목

(54) 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기

요약

본 발명은 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기에 관한 것으로서, 입사신호광의 역방향 진행을 차단하는 제1아이솔레이터; 펄핑광을 인가하는 펄프 LD; 신호광과 펄핑광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제1WDM; 입사광 신호를 펄프LD의 펄핑광으로 증폭하며, 음의 이득 기울기를 갖는 제1EDF; 증폭된 신호광을 펄프광과 신호광으로 파장분할하는 제2WDM; 제2WDM의 출력신호 중 신호광을 감쇠시키며, 음의 신호감쇠 기울기를 갖는 필터; 필터를 통과한 신호광이 역방향으로 진행되는 것을 방지하고, 다음단에서 발생하는 ASE의 유입을 방지하는 Midway 아이솔레이터; Midway 아이솔레이터를 통과한 신호광을 입력으로 하고, 제2WDM를 통과한 펄핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제3WDM; 입사광 신호를 증폭하며, 양의 이득 기울기를 갖고, 제1EDF와 다른 종류의 물질로 된 제2EDF; 및 신호의 역방향 진행을 차단하는 제2아이솔레이터를 포함함을 특징으로 한다.

본 발명에 의하면, 입사광의 세기 및 펄프 파워의 변화에 대해 매우 높은 이득을 가지면서도 평탄하고 이득특성 및 낮은 잡음지수를 갖는다.

대표도

도6

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 일반적인 EDFA의 구성에 대한 블록도를 도시한 것이다.

도 2는 pre-filtering EDFA의 구조를 블록도로 도시한 것이다.

도 3은 중간필터 방식의 EDFA에 대한 구성을 블록도로 도시한 것이다.

도 4는 중간 필터 방식의 EDFA를 사용하여 펄프 레이저 다이오드의 중심파장이 980nm, 펄프 레이저 다이오드의 전류가 160mA(펄프파워는 67mW)이며, 저 알루미늄 함유 알루미늄-저매노 실리콘이트 EDF로 어븀 농도가 260ppm인 EDF에 대해, 1542.3nm, 1546.8nm, 1552.4nm인 세개의 입력신호파장에서 신호입력 파워 변화에 따른 이득 및 잡음지수의 측정결과를 도시한 선도이다.

도 5는 도 4와 같은 조건에서 펄프 레이저 다이오드 전류의 변화에 따른 이득 및 잡음지수의 측정결과를 도시한 선도이다.

도 6은 본 발명에 따른, 넓은 전송파장 영역에서 높은 이득을 가지면서도 파장에 따른 이득을 평탄화하고 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기의 일실시예를 블록도로 도시한 것이다.

도 7은 1542.2nm, 1546.9nm, 1553nm의 세 파장에 대해서 신호광의 세기를 -35dB에서 -15dB까지 바꾸어 가며 측정한 결과를 도시한 것이다.

제8도는 1542.2nm, 1546.9nm, 1553nm의 세 파장에 대해 펄프광의 세기를 13mW에서 67mW까지 바꾸어가며 이득 및 잡음지수를 측정한 결과를 도시한 것이다.

도 8은 1542.2nm, 1546.9nm, 1553nm의 세 파장에 대해 펄프광의 세기를 13mW에서 67mW까지 바꾸어가며 이득 및 잡음지수를 측정한 결과를 도시한 것이다.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 광섬유 증폭기에 관한 것으로서, 특히 입사광 신호의 세기 및 펄스 파워의 변화에 대해 넓은 전송파장 영역에서 높은 이득을 가지면서 파장에 따른 이득을 평탄화하고 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기에 관한 것이다.

일반적으로 장거리 광통신을 위한 중계기에 있어서, 종래의 광통신 중계방식은 약해진 광신호를 전기신호로 변환하여 증폭시킨 후 다시 이를 광신호로 변환하여 통신하는 방식이었다. 이러한 중계방식에서는 중계용 증폭기 시스템이 지나치게 비대화되고 잡음이 증가하는 등의 많은 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 보완하고 효율적으로 광증폭을 수행하기 위한 중계기로서 광신호 자체를 증폭시키는 광증폭기가 요구된다.

상기와 같은 광증폭 중계기로서 어븀도핑 광섬유 증폭기(Erbium Doped Fiber Amplifier:이하 EDFA라 함)는 차세대 광통신용 광 중계기로서 많은 각광을 받고 있다. 상기 EDFA는 대량의 데이터가 한가닥의 광섬유를 통해 장거리에 걸쳐 전송될 때, 장거리 전송에 따르는 광신호의 감쇠를 막기 위하여 주기적으로 광신호를 증폭해 주는데 사용된다.

EDFA를 사용용도에 따라 구분하면, 전단 증폭기(pre-amplifier), 중계단 증폭기(in-line amplifier), 후단 증폭기(post-amplifier) 및 CATV 파워 부스터(CATV Power Booster)용으로 나눌 수 있다. 또한 상기 EDFA는 희토류 원소인 어븀(Er³⁺)을 첨가할시 광섬유의 최저손실을 보여주는 1.5 μ m 영역에서의 넓은 증폭대역과 아울러 통신 광섬유와의 접속(splicing)이 용이하고 높은 이득(gain)특성, 낮은 잡음 및 낮은 편파(polarization)의존성을 갖는다.

그리고, EDFA는 서로 다른 여러가지 파장의 광에 실린 정보를 묶어 단일 선로로 통신하는 파장분할 다중통신(WDM; Wavelength Division Multiplexing)시스템에 이용된다. 그러나 EDFA가 파장분할 멀티플렉싱(WDM)에 이용되기 위해서는 EDFA의 스펙트럼(spectrum) 이득이 높아야하며, 또한 넓은 파장대에 걸친 평탄한 이득특성이 요구된다.

도 1은 일반적인 EDFA의 구성에 대한 블록도를 도시한 것으로서, 신호의 역류를 방지하여 신호외의 광파의 발진 등을 방지하는 2개의 광 아이솔레이터(100,130), 펄스광과 신호광을 단일 광섬유로 합해주는 수동광소자인 파장분할멀티플렉서(wavelength division multiplexer:WDM, 120), 광섬유 코어일부에 어븀을 도핑하여 유도복사 원리로 증폭을 일으키는 증폭매체인 어븀도핑 광섬유(erbium doped fiber:EDF,120) 및 어븀을 여기시키는데 필요한 에너지를 제공하는 능동광소자인 펄스용 레이저 다이오드(140)로 구성되어 있다. 이와 같은 구성의 EDFA에서, EDF에는 펄스용 레이저 다이오드(140)가 접속되고, 이 펄스 레이저 다이오드의 펄스광이 광섬유의 코어에 도핑된 희토류 원소인 Er³⁺를 여기시켜 자발 방출(spontaneous emission)이 일어나도록 한다. 상기 펄스용 레이저 다이오드(5)의 중심파장은 980nm이고, 펄스광 출력은 입력측의 아이솔레이터(100)를 통한 미약한 광신호와 함께 파장분할 멀티플렉서(110)를 거쳐 어븀도핑광섬유(120)에 입사된다. 상기 파장분할 멀티플렉서(110)는 1530nm~1560nm 파장의 광신호와 980nm 파장의 펄스용 광을 결합시켜 EDF(120)에 입사시키는 역할을 한다. EDF(120)에서는 1530nm~1560nm 파장의 광신호들이 980nm 파장의 펄스용 광에 의해 증폭된다. 그리고 아이솔레이터(100,130)는 상기 EDF의 ASE(amplified spontaneous emission)에 의한 출력광들 중 역방향으로 진행되는 광이 다른 광소자들에 의해 반사되어 신호광의 증폭효율 저하현상을 막아준다.

그러나 상기 EDFA는 특정파장에 대해서만 높은 이득을 갖고 파장에 따라 이득편차가 심하다. 특히 EDFA의 동작 이득 범위에 따라 이득 스펙트럼이 크게 좌우된다는 문제점이 있다. 그리하여 상기 EDFA를 실제 시스템에 장착하여 사용할 때, 한 개의 광선로에 여러 파장의 신호를 동시에 보낼 수 없을 뿐만 아니라 장시간 사용후 펄스광의 세기가 감소될 경우 파장에 따른 이득 감소폭이 달라져 효율적인 광전송을 할 수 없다. 즉, 상기 EDFA는 이득변화가 0.5dB이내에서 전송가능한 신호광의 파장범위는 대략 3nm 정도에 불과하다.

이러한 단점을 보완하기 위해, 최근들어 상기 EDFA의 이득을 평탄화하기 위한 노력이 활발히 이루어지고 있다. 그 중의 하나로 마크-젠더(Mach-Zehnder) 필터를 EDF앞단에 삽입한 전단필터링(이하 pre-filtering라 함) 방식을 이용하여 이득을 평탄화하는 pre-filtering EDFA가 있다. 도 2는 상기 pre-filtering EDFA의 구조를 블록도로 도시한 것으로서, 입사광 신호의 불필요한 역방향 진행을 차단하는 제1아이솔레이터(200), EDF(240) 앞단에 삽입되어 신호광을 파장에 따라 필터링하는 마크-젠더 필터(210), 입사신호광을 증폭하기 위해 980nm의 펄스용 광을 인가하는 펄스레이저다이오드(220), 마크-젠더 필터(210)를 통과한 입사광과 상기 펄스용 광의 파장을 EDF(240)에 보내주기 위해 파장분할하는 결합하는 파장분할멀티플렉서(230), 입사신호광을 증폭하는 증폭매질로서 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기(positive gain slope)를 가지는 어븀도핑광섬유(240) 및 신호의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하현상을 없애주는 제2아이솔레이터(250)로 이루어진다.

한편 상기 pre-filtering EDFA의 동작원리를 살펴보면, 상기 마크-젠더 필터(210)는 같은 파워로 들어오는 입력신호를 파장에 따라 감쇠를 다르게하여 EDF(240)에 들어가는 신호광의 세기가 파장에 따라 다르게 하고, EDF(240)는 이득 스펙트럼이 1542nm와 1552nm 영역에서 단파장쪽은 이득이 작고 장파장 쪽은 이득이 크므로 EDF(240)에 들어오는 신호광은 마크-젠더 필터(210)를 이용하여 단파장쪽은 감쇠가 작고 장파장 쪽은 감쇠를 크게하여 결과적으로 EDF(240)의 이득 스펙트럼과 반대가 되게 한다. 결과적으로 마크-젠더 필터(210)의 감쇠 스펙트럼과 EDF(240)의 이득 스펙트럼은 서로 보완이 되어 EDFA의 이득을 평탄화(flattening)한다.

상기 pre-filtering EDFA의 경우, 펄스파워를 변화시켜가며 이득을 20.5dB까지 변화시켰을 때 파장에 따

른 이득 차(gain difference)는 대략 $\pm 0.4\text{dB}$ 이내이고, 입력신호세기 변화에도 이득 차는 대략 $\pm 0.4\text{dB}$ 이내이다.

그러나 상기 pre-filtering EDFA의 경우 한 개의 광선로에 전송가능한 파장대역은 10nm로 비교적 넓지만 잡음지수는 파장에 따라 차이가 심하고 1552nm 파장에서는 8dB로 그 값이 매우 크다. 광수신기의 바로 앞단에 설치하는 pre-Amplifier로 사용할 경우 상기 EDFA는 잡음지수가 너무 커서 적합하지 않다. 이득은 파장에 무관하게 0.5dB 이내로 평탄화되었지만 잡음지수는 파장에 따라 5dB에서 8dB까지 3dB정도의 차이가 나므로 한 개의 광선로에 여러 파장의 신호를 전송할 수 없게 된다는 문제점이 있다.

상기와 같은 문제점을 보완하기 위해, 같은 종류의 EDF 사이에 마크-젠더(Mach-Zehnder) 필터를 사용하여 1542nm에서 1552nm 파장범위에서 이득의 평탄화와 낮은 잡음지수를 동시에 달성하는 중간(Midway) 필터 방식의 EDFA가 있다. 도 3은 상기 중간필터 방식의 EDFA에 대한 구성을 블록도로 도시한 것으로서, 입사 신호광의 역방향 진행을 차단하는 제1아이슬레이터(300), 입사신호광을 증폭하기 위해 펌핑용 광을 인가하는 펌프 레이저 다이오드(310), 신호광과 펌핑광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제1파장분할멀티플렉서(320), 상기 제1파장분할 멀티플렉서(320)로부터 인가되는 입사신호광을 상기 펌프레이저 다이오드(310)의 펌핑광으로 증폭하며 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖는 제1어븀도핑 광섬유(330), 증폭된 신호광을 펌프광과 신호광으로 파장분할하는 제2파장분할 멀티플렉서(340), 제2파장분할멀티플렉서(340)의 신호 중 신호광을 입력으로 하여 평탄한 이득을 얻고자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유의 양의 이득 기울기보다 절대값이 큰 음의 신호감쇠 기울기를 갖는 마크-젠더 필터(350), 상기 필터(350)를 통과한 신호광과 상기 제2파장분할멀티플렉서(340)를 통과한 펌핑광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제3파장분할멀티플렉서(360), 상기 제3파장분할 멀티플렉서(360)로부터 인가되는 펌프광으로 상기 입사광 신호를 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖고, 제1어븀도핑 광섬유와 같은 종류의 물질로 된 제2어븀도핑광섬유(370) 및 신호의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하 현상을 없애주는 제2아이슬레이터(380)로 이루어진다.

상기 중간필터 방식의 EDFA동작을 살펴보면, 파장에 무관하게 들어오는 같은 세기의 신호광이 제1EDF(330)를 지나면서 증폭되고 증폭된 신호광의 세기는 파장에 따라 차이가 생긴다. 여기서 증폭된 신호광을 제2WDM(340)를 지나 마크-젠더 필터(350)에서 필터링되어 제3WDM(360)를 지나 제2EDF(370)에서 증폭되어 결과적으로 전체 이득과 잡음지수는 입력되는 신호광의 세기나 펌프광의 세기와는 무관하게 주어진 파장영역(1542nm - 1552nm)에서 평탄화된다. 제1WDM(320)에서 신호광과 결합되어 제1EDF(330)를 여기서 시키고 남은 펌프광은 제2WDM(340)에서 신호광과 갈라져 마크-젠더 필터(350)를 피해가고 제3WDM(360)에서 신호광과 다시 결합되어 제2EDF(370)를 여기서시킨다. 즉 마크-젠더 필터(350)의 감쇠 스펙트럼과 상기 두 개의 EDF(330, 370)의 이득 스펙트럼은 서로 보완이 되어 결과적으로 EDFA의 이득을 평탄화한다.

도 4는 상기 중간 필터 방식의 EDFA를 사용하여 펌프 레이저 다이오드의 중심파장이 980nm, 펌프 레이저 다이오드의 전류가 160mA(펌프파워는 67mW)이며, 저 알루미늄함유 알루미늄-저매노 실리케이트 EDF로 어븀 농도가 260ppm인 EDF에 대해, 1542.3nm, 1546.8nm, 1552.4nm인 세개의 입력신호파장에서의 신호입력 파워 변화에 따른 이득 및 잡음지수의 측정결과를 도시한 선도로서, 상기 세 파장에 대해서 펌프광의 세기를 바꾸어 가며 측정한 결과 이득은 $\pm 0.3\text{dB}$ 내에서, 잡음지수는 $\pm 0.5\text{dB}$ 이내에서 각각 평탄화되었다.

도 5는 도 4와 같은 조건에서 펌프 레이저 다이오드 전류의 변화에 따른 이득 및 잡음지수의 측정결과를 도시한 선도로서, 상기 1542nm, 1546nm, 1552nm 세 파장에 대해서 신호광의 세기를 바꾸어가며 측정한 결과 이득과 잡음지수는 $\pm 0.3\text{dB}$ 내에서 평탄화되었다.

그러나 상기 중간필터 방식의 EDFA는 이득스펙트럼이 1542nm에서 1552nm 사이에서 양의 기울기를 갖는 EDF를 마크-젠더 필터의 앞 뒷단에 사용했기 때문에 중간(Midway) 필터로 사용되는 마크-젠더 필터의 흡수율(extinction ratio)을 크게 해 주어야 한다. 이렇게 될 경우 EDFA의 이득은 평탄화할 수 있으나 전체적인 이득은 낮아지고 잡음지수(Noise Figure)는 다소 높아진다. EDFA의 이득이 낮으면 장거리 통신에서 리피터(repeater)로 사용할 경우 EDFA의 전체 수량을 늘려야 하므로 비용면에서 손실이 크다. 즉 여러개의 EDFA 중 중간의 EDFA 한 개가 수명이 다하여 제 기능을 발휘하지 못할 경우 전체 통신에 상당한 영향을 끼치게 되므로 EDFA 사이의 간격을 더 좁힐 수밖에 없어 더 많은 EDFA를 설치해야 한다. 주어진 파장영역(1542nm - 1552nm)에서 소신호이득(small signal gain)은 파장에 무관하게 펌프 파워가 67mW일 때 최대 $18 \pm 0.3\text{dB}$ 이고 잡음지수(NF)는 $5.0 \pm 0.5\text{dB}$ 이다. 이득이 평탄화되지 않은 EDFA가 이 파장영역에서의 이득이 25 - 30 dB임을 고려하면 너무 낮은 값이다. 또한 1542nm에서 1552nm 까지의 파장영역에서 양의 이득 스펙트럼을 갖는 EDF를 마크-젠더 필터 앞뒷단에 사용할 경우 장파장쪽은 이득 스펙트럼이 더 높고 단파장쪽은 이득 스펙트럼이 더 낮게 되어, 파장에 따른 이득 스펙트럼 차이가 더욱 커지게 되므로 이것을 줄이기 위해서는 마크-젠더 필터의 흡수율을 더욱 크게 해야 한다. 이렇게 되면 EDFA의 이득은 더욱 낮아질 수 밖에 없다는 문제점이 발생한다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 창출된 것으로서, 필터 앞뒷단에 위치하는 EDF의 종류를 서로 다르게하여 파장에 따른 이득 스펙트럼이 서로 보완하게 하고, 상기 필터 뒤에 광 아이슬레이터를 두어 뒷단 EDF에서 발생하는 증폭된 자발방출(ASE)이 앞단으로 유입되는 것을 방지함으로써, 대략 10nm 전송파장 영역에서 높은 이득을 가지면서도 파장에 따른 이득을 평탄화하고 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기를 제공함에 그 목적이 있다.

발명의 구성 및 작용

상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른, 대략 10nm 전송파장 영역에서 높은 이득을 가지면서도 파장에 따른 이득을 평탄화하고 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기는 입사 신호광의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하 현상을 없애주는 제1아이슬레이터; 상기 입사 신호광을 증폭하기 위해 상기 입사 신호광과 다른 파장의 펌핑용 광을 인가하는 펌프 레이저 다이오드; 상기 제1아이슬레이터

터를 통과한 신호광과 상기 펌핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제1파장분할멀티플렉서; 상기 제1파장분할 멀티플렉서로부터 인가되는 상기 입사광 신호를 상기 펌프레이저 다이오드의 펌핑용 광으로 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 음의 이득 기울기를 갖는 제1어븀도핑 광섬유; 상기 제1어븀도핑 광섬유를 통해 증폭된 신호광을 펌프광과 신호광으로 파장분할하는 제2파장분할멀티플렉서; 상기 제2파장분할멀티플렉서의 출력신호 중 신호광을 입력으로하여 신호를 감쇠시키며, 평탄한 이득을 얻고자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유의 이득 기울기보다 절대값이 작은 음의 신호감쇠 기울기를 갖는 필터; 상기 필터를 통과한 신호광이 역방향으로 진행되는 것을 방지하고, 다음단에서 발생하는 ASE의 유입을 방지하는 Midway 아이솔레이터; 상기 ASE 아이솔레이터를 통과한 신호광을 입력으로 하고, 상기 제2파장분할멀티플렉서를 통과한, 상기 제1어븀도핑 광섬유를 통해 신호광을 증폭하고 남은 펌핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제3파장분할멀티플렉서; 상기 제3파장분할 멀티플렉서로부터 인가되는 펌프광으로 상기 입사광 신호를 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖고, 상기 제1어븀도핑 광섬유와 다른 종류의 물질로 된 제2어븀도핑광섬유; 및 상기 제2어븀도핑 광섬유를 통과한 신호의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 증폭효율 저하현상을 없애주는 제2아이솔레이터를 포함함이 바람직하다.

상기 펌프 레이저 다이오드는 펌프광의 파장이 980nm인 펌프 레이저 다이오드임이 바람직하다. 그리고 상기 제1어븀도핑 광섬유는 평탄한 이득특성을 갖고자 하는 파장영역에서 음의 이득 기울기를 갖는 고 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유이고, 상기 제2어븀도핑 광섬유는 평탄한 이득특성을 갖고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖는 저 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유이고, 상기 필터는 상기 제2파장분할멀티플렉서의 출력신호 중 신호광을 입력으로하여 신호를 감쇠시키며, 평탄한 이득을 얻고자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유와 상기 제2어븀도핑 광섬유의 이득 차를 줄이는 신호감쇠 기울기를 갖는 필터임이 바람직하다.

그리고 상기의 목적을 달성하기 위한 또 다른 구성을 갖는, 입사광 신호의 세기 및 펌프 파워의 변화에 대해 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 광섬유 증폭기는 입사 신호광의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 증폭효율 저하현상을 없애주는 제1아이솔레이터; 상기 입사 신호광을 증폭하기 위해 상기 입사 신호광과 다른 파장의 펌핑용 광을 인가하는 펌프 레이저 다이오드; 상기 제1아이솔레이터를 통과한 신호광과 상기 펌핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제1파장분할멀티플렉서; 상기 제1파장분할 멀티플렉서로부터 인가되는 상기 입사광 신호를 상기 펌프레이저 다이오드의 펌핑용 광으로 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖는 제1어븀도핑 광섬유; 상기 제1어븀도핑 광섬유를 통해 증폭된 신호광을 펌프광과 신호광으로 파장분할하는 제2파장분할멀티플렉서; 상기 제2파장분할멀티플렉서의 출력신호 중 신호광을 입력으로하여 평탄한 이득을 얻고자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유의 이득 기울기보다 절대값이 작은 양의 신호감쇠 기울기를 갖는 필터; 상기 필터를 통과한 신호광이 역방향으로 진행되는 것을 방지하고, 다음단에서 발생하는 ASE의 유입을 방지하는 Midway 아이솔레이터; 상기 ASE 아이솔레이터를 통과한 신호광을 입력으로 하고, 상기 제2파장분할멀티플렉서를 통과한, 상기 제1어븀도핑 광섬유를 통해 신호광을 증폭하고 남은 펌핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제3파장분할멀티플렉서; 상기 제3파장분할 멀티플렉서로부터 인가되는 펌프광으로 상기 입사광 신호를 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 음의 이득 기울기를 갖고, 상기 제1어븀도핑 광섬유와 다른 종류의 물질로 된 제2어븀도핑광섬유; 및 상기 제2어븀도핑 광섬유를 통과한 신호의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하 현상을 없애주는 제2아이솔레이터를 포함함이 바람직하다.

상기 제1어븀도핑 광섬유는 평탄한 이득특성을 갖고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖는 저 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유이고, 상기 제2어븀도핑 광섬유는 평탄한 이득특성을 갖고자 하는 파장영역에서 음의 이득 기울기를 갖는 고 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유이고, 상기 필터는 상기 제2파장분할멀티플렉서의 출력신호 중 신호광을 입력으로하여 신호를 감쇠시키며, 평탄한 이득을 얻고자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유와 상기 제2어븀도핑 광섬유의 이득 차를 줄이는 신호감쇠 기울기를 갖는 필터임이 바람직하다.

이하에서 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다. 도 6은 본 발명에 따른, 넓은 전송파장 영역에서 높은 이득을 가지면서도 파장에 따른 이득을 평탄화하고 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기의 실시예를 블록도로 도시한 것으로서, 제1아이솔레이터(600), 펌프 레이저 다이오드(610), 제1파장분할 멀티플렉서(620), 제1어븀도핑광섬유(630), 제2파장분할멀티플렉서(640), 필터(650), Midway 아이솔레이터(690), 제3파장분할멀티플렉서(660), 제2어븀도핑 광섬유(670) 및 제2아이솔레이터(680)로 이루어진다.

상기 제1아이솔레이터(600)는 입사 신호광의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하 현상을 없애는 역할을 하며, 40dB 내외의 아이솔레이션을 한다. 펌프 레이저 다이오드(610)는 상기 입사 신호광을 증폭하기 위해 상기 입사 신호광과 다른 파장의 펌핑용 광을 인가하며, 펌프광의 파장이 1480nm인 펌프 LD보다 증폭효율이 좋고 잡음지수(noise figure)특성이 우수하며 최대 파워가 77mW인 Seastar사(펌프 레이저 다이오드 제조회사명)의 980nm의 펌프광 파장을 갖는 펌프 LD이다.

제1파장분할멀티플렉서(620)는 상기 제1아이솔레이터를 통과한 신호광과 상기 펌핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합시켜주며, 퓨즈(fuse)타입으로 삽입손실은 0.3dB 정도이며 아이솔레이션은 18dB이상이다. 제1어븀도핑 광섬유(630)는 어븀도핑 농도가 260ppm인 고 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유로서, 평탄한 이득 특성을 얻고자 하는 파장영역에서 음의 이득 기울기를 가지며, 상기 제1파장분할 멀티플렉서(620)로부터 인가되는 상기 입사광 신호를 상기 펌프레이저 다이오드(610)의 펌핑용 광으로 증폭한다. 상기 제2파장분할 멀티플렉서(640)는 상기 제1어븀도핑 광섬유(630)를 통해 증폭된 신호광을 펌프광과 신호광으로 파장분할한다.

필터(650)는 상기 제2파장분할 멀티플렉서(640)과 상기 제3파장분할 멀티플렉서(650)사이에 위치하며, 상기 제2파장분할멀티플렉서(640)의 출력신호 중 신호광을 입력으로하여 신호를 감쇠시키며, 평탄한 이득을 얻고자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유(630)의 이득 기울기보다 절대값이 작은 음의 신호감쇠 기울기를 갖는 마크-젠더 필터로서, 평탄한 이득 특성을 갖도록 상기 제1어븀도핑 광섬유(630)와 상기

제2어븀도핑 광섬유(670)의 이득차를 줄이는 역할을 한다.

상기 Midway 아이솔레이터(690)는 상기 필터(650)를 통과한 신호광이 역방향으로 진행되는 것을 방지하고, 다음단에서 발생하는 ASE가 앞단의 제1EDF(630)에 들어가는 것을 방지하여 증폭효율을 향상시키는 역할을 한다.

상기 제3파장분할멀티플렉서(660)는 상기 Midway 아이솔레이터(690)를 통과한 신호광과, 상기 제2파장분할멀티플렉서(640)를 통과한 상기 제1어븀도핑 광섬유(630)를 통해 신호광을 증폭하고 남은 펌프용 광을 입력으로 하여 파장분할하여 결합한다. 제2어븀도핑 광섬유(670)는 상기 제3파장분할 멀티플렉서(660)로부터 인가되는 펌프광으로 상기 입사광 신호를 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖고, 상기 제1어븀도핑 광섬유(630)와 다른 종류의 물질인 저 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유이다. 제2아이솔레이터(680)는 상기 제2어븀도핑 광섬유(670)를 통과한 신호의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하 현상을 없애준다.

한편 본 발명의 동작을 설명하기로 한다. 파장에 무관하게 들어오는 같은 세기의 신호광은 역방향 진행을 막아주는 제1아이솔레이터(600)를 통과하여 펌프 LD(610)의 펌프광과 함께 제1WDM(620)에 입력되어 결합되면, 상기 펌프광은 1542nm에서 1552nm 사이에서 음의 이득 스펙트럼을 갖는 제1EDF(630)를 통해 증폭된다. 상기 제1EDF(630)에 의해 증폭된 신호광과 상기 제1EDF(630)를 여기서시키고 남은 펌프광은 제2WDM(640)에서 나뉘어진다. 상기 제2WDM(640)에서 출력된 상기 펌프광은 마크-젠더 필터(650)에서 감쇠를 받지 않고 직접 제3WDM(660)을 통해 신호광과 결합되어 제2EDF(670)를 여기서시켜 신호광을 증폭시키게 되고, 상기 제2EDF(670)에 의해 증폭된 신호광은 제2아이솔레이터(680)에 의해 역방향 진행이 방지된다.

즉, 상기 제1EDF(630)는 음의 이득 기울기를 가지므로 단파장쪽의 이득이 장파장 신호광의 이득보다 높게 된다. 그리고 상기 제2EDF(670)는 상기 주어진 파장범위 즉 1542nm에서 1552nm 사이에서 양의 이득 스펙트럼을 가지므로, 같은 세기를 가지지만 파장이 다른 신호광이 들어오면 단파장보다 장파장쪽의 신호를 더 높게 증폭시켜 상기 제1EDF(630)와 이득차를 줄이는 쪽으로 상호보완이 된다.

그러나 상기 두 EDF(630,670)의 이득 스펙트럼이 정확히 대칭이 아니어서 파장에 따른 이득차를 완벽하게 보상해 주지 못한다. 따라서 상기 EDF들(630,670) 사이에 감쇠크기의 조절이 가능한(tunable) 마크-젠더 필터(650)를 이용하여, 상기 제2WDM(640)에서 출력되는 신호광을 적절한 크기로 감쇠시켜 파장에 따른 이득차를 없애줌으로써 결과적으로 고이득을 가지면서도 이득을 평탄화한다. 이 때 뒷단의 상기 제2EDF(670)에서 역방향으로 진행하는(backward) Midway가 앞단의 제1EDF(630)으로 유입되면 신호광의 증폭효율이 떨어지므로 이러한 현상을 막기위해 상기 필터(650) 뒤에 Midway 아이솔레이터(690)를 삽입하여 증폭효율을 높였다. 그리고 마크-젠더 필터(650)를 펌프LD(610) 뒷단에 둬으로써 낮은 잡음 지수를 갖게 된다.

도 7은 1542.2nm, 1546.9nm, 1553nm의 세 파장에 대해서 신호광의 세기를 -35dB에서 -15dB까지 바꾸어 가며 측정된 결과를 도시한 것으로서, 이득차는 ± 0.2 dB, 잡음지수차는 ± 0.3 dB 이내로 평탄화되었음을 볼 수 있다. 이 때 신호광의 세기가 -35dB이고 펌프파워가 67mW일 때 소신호(small signal) 이득은 25.5 ± 0.2 dB, 잡음지수는 3.7 ± 0.2 dB로 이득은 매우 높고, 잡음지수는 매우 낮게 나타났다. 그리고 도 8은 1542.2nm, 1546.9nm, 1553nm의 세 파장에 대해 펌프광의 세기를 13mW에서 67mW까지 바꾸어가며 이득 및 잡음지수를 측정된 결과를 도시한 것으로서, 이득과 잡음지수차가 ± 0.2 dB 이내로 평탄화되었음을 볼 수 있다.

한편, 본 발명의 본 발명의 또 다른 실시예를 설명하기로 한다. 상기 본 발명의 또 다른 실시예는 상기 일실시예와 비교해 볼 때, 그 구성요소가 유사하나, 필터(650) 및 두 개의 EDF(630,670)는 상기 일실시예에서 사용된 것과 다르다. 즉 상기 제1EDF(630)은 양의 이득 기울기를 가지는 저(low) 알루미늄 함유 EDF이고, 제2EDF(670)는 음의 이득 기울기를 갖는 고(high) 알루미늄 함유 EDF이다. 그리고 필터(650)는 상기 제1EDF(630)과 제2EDF(670)의 이득 기울기의 차로 인한 이득차를 줄이는 쪽으로 이득 기울기를 조정한다. 이렇게 구성하여도 상기 일실시예와 마찬가지로 상기 제1EDF(630)과 제2EDF(670)은 이득면에서 평탄화된 이득이 되게끔 서로 보완이 되며, 미세한 이득차는 필터(650)가 줄여주므로, 결과적으로 펌프 LD 및 입력 파워가 변해도 대략 10nm의 전송파장에서 이득은 높으면서도 매우 평탄한 이득특성을 갖게 된다.

발명의 효과

이상에서 본 발명에 의한 효과를 설명하면 다음과 같다. 같은 이득 스펙트럼을 갖는 EDF를 앞뒷단에 사용하면 이득이 높은 파장은 더욱 높게, 이득이 낮은 파장은 더욱 낮게 하므로 결과적으로 전체 EDFA의 파장에 따른 이득편차를 크게 한다. 이러한 현상을 막기 위해 마크-젠더 필터의 흡수율(extinction ratio)을 크게 해야 하므로 EDFA의 절대적인 이득은 낮아진다.

본 발명에서는 두 EDF의 이득 스펙트럼이 서로 반대인 것을 사용하고 상기 두 EDF사이에 필터와 아이솔레이터를 사용하여 파장에 따른 EDFA의 이득과 잡음지수를 동시에 평탄화하였다. 종래 기술에 비해 EDFA 이득의 절대값은 더 높고 잡음지수는 더욱 낮게하여 EDFA의 성능향상을 가져왔다.

상호보완적인 이득 스펙트럼을 갖는 EDF를 사용하였기 때문에 마크-젠더 필터의 흡수율(extinction ratio)을 작게할 수 있어 높은 이득을 얻을 수 있고, 향후 두 EDF의 상호보완적 특성을 향상시키면 필터를 사용하지 않아도 보다 넓은 파장 범위에서 EDFA의 이득을 평탄화할 수 있을 것으로 기대된다.

Midway 아이솔레이터는 역방향 ASE만을 막아주기 때문에 주어진 파장(1542nm - 1552nm)은 통과시키고 순방향 ASE를 막아줄 수 있는 필터를 사용하면 더 높은 이득을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

또한 EDF의 특성을 잘 선택하면 본 발명에서 평탄화한 10nm 파장 범위보다 더 넓게 평탄화한 EDFA를 구성할 수 있을 것이다. 같은 종류의 EDF를 사용할 때 보다 이득은 높고 잡음지수는 낮으므로 장거리 통신뿐만 아니라 Pre-Amplifier로서 유용하게 사용가능하다.

여기서, 한가지 유의할 점은 상기 실시예들에서 제1EDF(630) 및 제2EDF(670)의 이득 기울기의 절대값은 어느 한쪽이 약간 클 수 있다. 그리고 그 차이는 필터(650)를 통해서 조절하여 결과적으로 평탄한 이득

이 되게끔 하고 뒷단의 역방향 ASE를 방지하기 위해 필터 뒤에 아이솔레이터를 두는 것이 본 발명의 기본 개념이므로, 상기 실시예에 의해 언급되지 아니한 많은 또 다른 실시예들도 가능함은 본 발명이 속한 기술분야에 속하는 자들에게는 자명하다는 것이다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

입사광 신호의 세기 및 펄프 파워의 변화에 대해 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 광섬유 증폭기에 있어서, 입사 신호광의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하 현상을 없애주는 제1아이솔레이터; 상기 입사 신호광을 증폭하기 위해 상기 입사 신호광과 다른 파장의 펄핑용 광을 인가하는 펄프 레이저 다이오드; 상기 제1아이솔레이터를 통과한 신호광과 상기 펄핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제1파장분할멀티플렉서; 상기 제1파장분할멀티플렉서로부터 인가되는 상기 입사광 신호를 상기 펄프 레이저 다이오드의 펄핑용 광으로 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 음의 이득 기울기를 갖는 제1어븀도핑 광섬유; 상기 제1어븀도핑 광섬유를 통해 증폭된 신호광을 펄프광과 신호광으로 파장분할하는 제2파장분할멀티플렉서; 상기 제2파장분할멀티플렉서의 출력신호 중 신호광을 입력으로 하여 신호를 감쇠시키며, 평탄한 이득을 얻고자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유의 이득 기울기보다 절대값이 작은 음의 신호감쇠 기울기를 갖는 필터; 상기 필터를 통과한 신호광이 역방향으로 진행되는 것을 방지하고, 다음단에서 발생하는 ASE의 유입을 방지하는 Midway 아이솔레이터; 상기 ASE 아이솔레이터를 통과한 신호광을 입력으로 하고, 상기 제2파장분할멀티플렉서를 통과한, 상기 제1어븀도핑 광섬유를 통해 신호광을 증폭하고 남은 펄핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제3파장분할멀티플렉서; 상기 제3파장분할멀티플렉서로부터 인가되는 펄프광으로 상기 입사광 신호를 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖고, 상기 제1어븀도핑 광섬유와 다른 종류의 물질로 된 제2어븀도핑광섬유; 및 상기 제2어븀도핑 광섬유를 통과한 신호의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하 현상을 없애주는 제2아이솔레이터를 포함함을 특징으로 하는 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 필터는 신호광을 파장에 따라 필터링하는 마크-젠더 필터임을 특징으로 하는 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 펄프 레이저 다이오드는 펄프광의 파장이 980nm인 펄프 레이저 다이오드임을 특징으로 하는 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1어븀도핑 광섬유는 평탄한 이득특성을 갖고자 하는 파장영역에서 음의 이득 기울기를 갖는 고 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유이고, 상기 제2어븀도핑 광섬유는 평탄한 이득특성을 갖고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖는 저 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유이고, 상기 필터는 상기 제2파장분할멀티플렉서의 출력신호 중 신호광을 입력으로 하여 신호를 감쇠시키며, 평탄한 이득을 얻고자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유와 상기 제2어븀도핑 광섬유의 이득 차를 줄이는 신호감쇠 기울기를 갖는 필터임을 특징으로 하는 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기.

청구항 5

입사광 신호의 세기 및 펄프 파워의 변화에 대해 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 광섬유 증폭기에 있어서, 입사 신호광의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하 현상을 없애주는 제1아이솔레이터; 상기 입사 신호광을 증폭하기 위해 상기 입사 신호광과 다른 파장의 펄핑용 광을 인가하는 펄프 레이저 다이오드; 상기 제1아이솔레이터를 통과한 신호광과 상기 펄핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제1파장분할멀티플렉서; 상기 제1파장분할 멀티플렉서로부터 인가되는 상기 입사광 신호를 상기 펄프 레이저 다이오드의 펄핑용 광으로 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖는 제1어븀도핑 광섬유; 상기 제1어븀도핑 광섬유를 통해 증폭된 신호광을 펄프광과 신호광으로 파장분할하는 제2파장분할멀티플렉서; 상기 제2파장분할멀티플렉서의 출력신호 중 신호광을 입력으로 하여 평탄한 이득을 얻고자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유의 이득 기울기보다 절대값이 작은 양의 신호감쇠 기울기를 갖는 필터; 상기 필터를 통과한 신호광이 역방향으로 진행되는 것을 방지하고, 다음단에서 발생하는 ASE의 유입을 방지하는 Midway 아이솔레이터; 상기 ASE 아이솔레이터를 통과한 신호광을 입력으로 하고, 상기 제2파장분할멀티플렉서를 통과한, 상기 제1어븀도핑 광섬유를 통해 신호광을 증폭하고 남은 펄핑용 광의 파장을 파장분할하여 결합하는 제3파장분할멀티플렉서; 상기 제3파장분할 멀티플렉서로부터 인가되는 펄프광으로 상기 입사광 신호를 증폭하며, 평탄한 이득특성을 얻고자 하는 파장영역에서 음의 이득 기울기를 갖고, 상기 제1어븀도핑 광섬유와 다른 종류의 물질로 된 제2어븀도핑광섬유; 및 상기 제2어븀도핑 광섬유를 통과한 신호의 역방향 진행을 차단하여 반사파에 의한 이득저하 현상을 없애주는 제2아이솔레이터를 포함함을 특징으로 하는 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 필터는 신호광을 파장에 따라 필터링하는 마크-젠더 필터임을 특징으로 하는 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기.

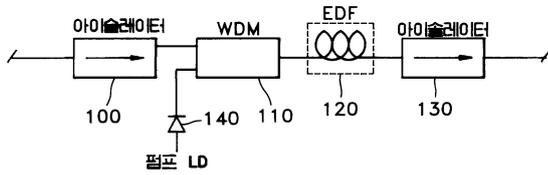
청구항 7

제5항에 있어서, 상기 제1어븀도핑 광섬유는 평탄한 이득특성을 갖고자 하는 파장영역에서 양의 이득 기울기를 갖는 저 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유이고, 상기 제2어븀도핑 광섬유는 평탄한 이득특성을 갖고

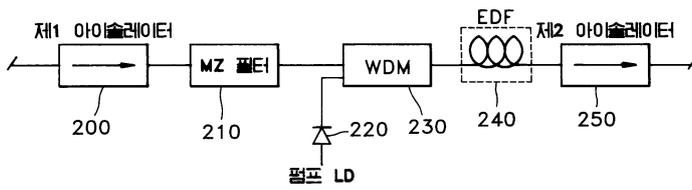
자 하는 파장영역에서 음의 이득 기울기를 갖는 고 알루미늄 함유 어븀도핑 광섬유이고, 상기 필터는 상기 제2파장분할멀티플렉서의 출력신호 중 신호광을 입력으로하여 신호를 감쇠시키며, 평탄한 이득을 얻고 자 하는 파장영역에서 상기 제1어븀도핑 광섬유와 상기 제2어븀도핑 광섬유의 이득 차를 줄이는 신호감쇠 기울기를 갖는 필터임을 특징으로 하는 평탄한 고이득 및 낮은 잡음지수를 갖는 어븀도핑 광섬유 증폭기.

도면

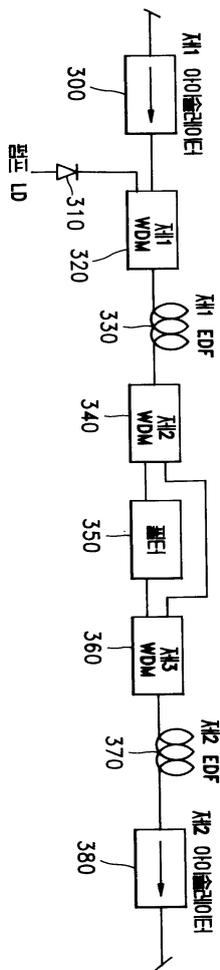
도면1



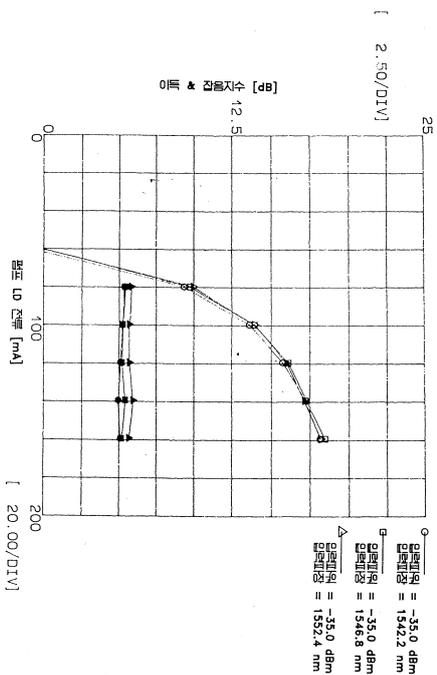
도면2



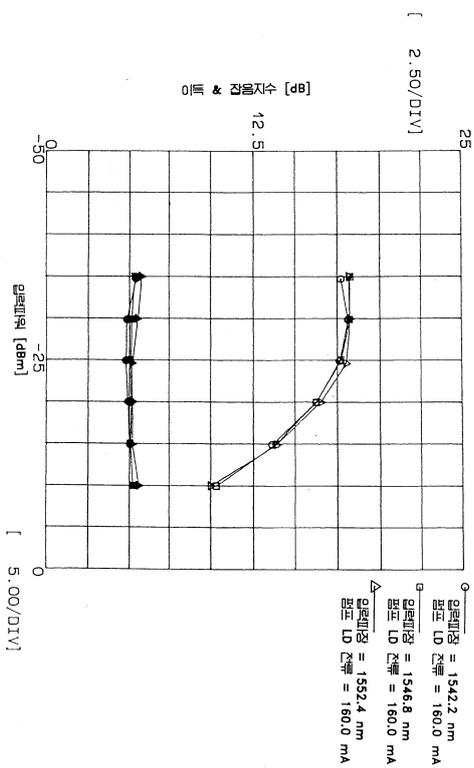
도면3



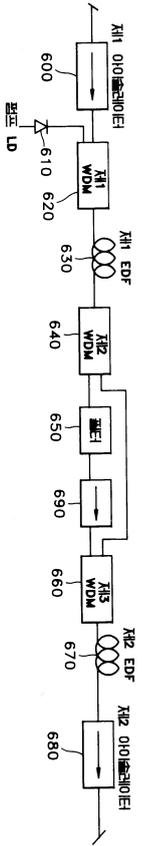
도면4



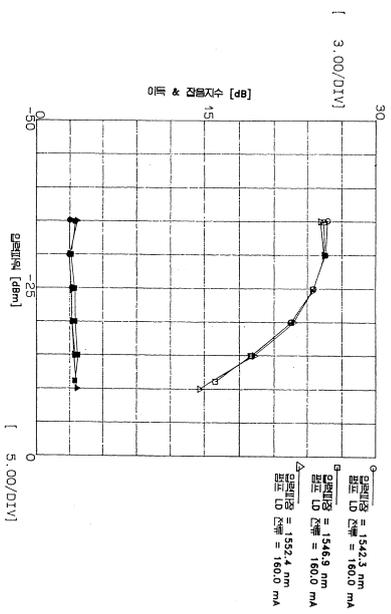
도면5



도면6



도면7



도면8

